

Metaheurísticas aplicadas a problemas de optimización

Villagra A., Pandolfi D., Villagra S., Lasso M., Rasjido J., Mercado V., Orozco S., Miño R.

Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEm) - Unidad Académica Caleta Olivia

Universidad Nacional de la Patagonia Austral

{avillagra, dpandolfi, svillagra, mlasso, jrasjido, vmercado, sorozco, rminio}@uaco.unpa.edu.ar

Leguizamón G.

Laboratório de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Computacional (LIDIC)

Departamento de Informática - Universidad Nacional de San Luis

legui@unsl.edu.ar

RESUMEN

En el presente trabajo se describen dos líneas de investigación en campo de las metaheurísticas. La primera, está relacionada a mecanismos avanzados de manejo de restricciones y a nuevas propuestas para la mejora del proceso de búsqueda aplicadas a problemas de optimización combinatoria. La segunda línea de trabajo se vincula con la aplicación de diferentes técnicas metaheurísticas al problema de ruteo de vehículos. Los aspectos a estudiar serán validados a través de estudios experimentales intensivos y analizados rigurosamente bajo la teoría estadística apropiada.

Palabras clave: Metaheurísticas, Manejo de Restricciones, Mejoras en el proceso de búsqueda, Problemas de Optimización, Problema de Ruteo de Vehículos.

CONTEXTO

Las líneas de investigación descriptas en esta presentación se enmarcan en el Proyecto de Investigación "Metaheurísticas aplicadas al Problema de Ruteo de Vehículos" llevado a cabo en el Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEm) en el marco del programa de Investigación en Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral.

1. INTRODUCCION

Las metaheurísticas (MHs) [Glover et al. 2003] son métodos que integran procedimientos de mejora local y estrategias de alto nivel para crear un proceso capaz de escapar de óptimos locales y realizar una búsqueda robusta en el espacio-problema. En su evolución histórica estos métodos han incorporado diferentes estrategias para evitar la convergencia a óptimos locales, especialmente en espacios de búsqueda complejos. En los últimos años, el interés en hibridizar metaheurísticas ha aumentado considerablemente y en particular en el campo de la optimización (Hart W. et al. 2005). Combinaciones de algoritmos metaheurísticos en

una sola técnica han proporcionado procedimientos de búsqueda muy poderosos.

El diseño de algoritmos cada vez más eficientes para resolver problemas complejos (tanto problemas de optimización como de búsqueda) es un aspecto importante en la investigación en el campo informático. La mayoría de los problemas de optimización incluyen restricciones de cierta clase, que constituyen grandes desafíos a la resolución de este tipo de problemas. Las restricciones son límites impuestos a las variables de decisión y en general, son una parte integral de la formulación de cualquier problema [Dhar & Ranganathan 1990].

En el dominio específico de problemas discretos, tales como Knapsack Problem, Set Covering Problem, Vehicle Routing Problem, y todos los tipos de Scheduling Problems, todos están sujetos a restricciones. El espacio de búsqueda de estos problemas se subdivide en dos subconjuntos, el espacio de soluciones factibles y el espacio de soluciones no factibles. Estos subespacios no necesariamente son convexos y no necesariamente están conectados. Para la resolución del problema de optimización sujeto a restricciones los algoritmos de búsqueda, tal como lo son Algoritmos Evolutivos (AEs), promueven generación de soluciones en ambos subespacios. El problema consistirá entonces en cómo tratar soluciones no-factibles para explorar el subespacio de soluciones factibles [Michalewicz 1997]. La experiencia del grupo de investigación en esta temática permite avanzar en situaciones más complejas y diversas y que derivan en las presentes líneas de investigación y desarrollo.

2. LINEAS DE INVESTIGACION y DESARROLLO

En esta sección se describen las dos grandes líneas de investigación que se llevan a cabo en el proyecto:

- Manejo de Restricciones y Mejora del proceso de búsqueda

En los últimos años se han propuesto varios métodos para el manejo de restricciones con algoritmos evolutivos para problemas de optimización. Estos métodos han sido agrupados por Michalewicz [Koziel & Michalewicz, 1999]

[Michalewicz & Schoenauer,1996] en cuatro categorías:

- Métodos basados en la preservación de soluciones factibles: La idea detrás de este método está basada en operadores especializados que transforman padres factibles en hijos factibles. El método asume restricciones lineales únicamente y un punto de comienzo factible o una población inicial factible.

-Métodos basados en funciones de penalidad: Muchos algoritmos evolutivos incorporan métodos de manejo de restricciones basados en el concepto de funciones de penalidad exterior que penalizan soluciones no-factibles. Estos métodos difieren en importantes detalles tales como la forma de designar la función de penalidad y aplicarla a soluciones no-factibles.

-Métodos que hacen una clara distinción entre soluciones factibles y no-factibles: Hay algunos métodos que enfatizan la distinción entre soluciones factibles y no-factibles en el espacio de búsqueda. Uno de estos métodos distingue entre individuos factibles y no-factibles donde cualquier solución factible es mejor que cualquier otra no-factible.

-Otros métodos híbridos: Estos métodos combinan técnicas de computación evolutiva con procedimientos determinísticos para problemas de optimización numérica.

Por otro lado Coello Coello [Coello Coello, 2002] propone una taxonomía útil de técnicas para el manejo de restricciones que incluyen: (a) Funciones de Penalidad: disminuyen el fitness de soluciones no-factibles para que las soluciones factibles sean elegidas en el proceso de selección, (b) representaciones y operadores especiales: para preservar la factibilidad de los hijos generados, (c) algoritmos de reparación: para transformar las soluciones no-factibles en soluciones factibles, (d) separaciones de funciones objetivo y restricciones: consiste en usar estos valores como criterios separados en el proceso de selección de un Algoritmo Evolutivo y (e) métodos híbridos: combinan diferentes algoritmos y/o mecanismos. Estudios recientes en optimización numérica con restricciones usando algoritmos evolutivos y otros enfoques bio-inspirados pueden encontrarse en Mezura-Montes [Mezura-Montes, 2009]. Se pretende trabajar en el diseño, implementación y estudio de técnicas avanzadas para el manejo de restricciones. Además de abordar la formulación de diferentes tipos de restricciones y aplicarlas al problema de VRP con restricciones.

En cuanto a la mejora del proceso búsqueda: como se mencionó anteriormente las MHs son métodos que integran de diversas maneras, procedimientos de mejora local y estrategias de alto nivel para crear un proceso capaz de escapar de óptimos locales y realizar una búsqueda robusta en el espacio de búsqueda. En su evolución, estos métodos han incorporado diferentes estrategias para evitar la convergencia a óptimos locales, especialmente en

espacios de búsqueda complejos. Aunque las MHs en general presentan un bajo nivel de desarrollo desde el punto de vista matemático, tales procesos son válidos en muchas situaciones prácticas para las cuales se han obtenido resultados muy interesantes para problemas del mundo real, en particular en el ámbito de la industria.

Resta mencionar como punto adicional, que la garantía de un adecuado desempeño de las MHs en general depende en gran medida del desempeño de los operadores o mecanismos de exploración propios de cada una de ellas. En este sentido, la utilización de enfoques avanzados para mejorar el proceso de exploración es un tópico de interés dado su inmediata aplicación y beneficio directo respecto a posibles mejoras en el diseño de MHs. Por ejemplo, el concepto de sociobiología [Wilson 1975] es un mecanismo evolutivo exitoso que podría ser usado como mecanismo alternativo en los modelos algorítmicos o metaheurísticas que imitan el proceso evolutivo. En este sentido, la perspectiva Darwiniana tradicional explica la regulación de la descendencia a través de las restricciones del medio ambiente: alimentos, clima y depredación, las que en su conjunto regulan los tamaños y adaptabilidad de las poblaciones. Por el contrario, según [Wynne-Edwards 1962], los animales pueden autorregular su propia población estimando restricciones del ambiente y por lo tanto variar sus tasas de reproducción. Por otro lado, la teoría de [Hamilton 1964] sobre la evolución de genética del comportamiento social, propone que el valor adaptativo de un individuo se podría medir no solamente por su éxito personal en materia de reproducción, sino a través del beneficio de reproducción de otros individuos (parientes). La suma de estos dos conceptos fue denominado como "inclusive fitness" o adecuación adaptativa global. Basado en estos conceptos previos y en el constante desarrollo e investigación de conceptos útiles para mejorar el desempeño de los enfoques metaheurísticos, se plantea como una alternativa, el desarrollo de algoritmos y/o mejoras en los enfoques metaheurísticos a través de la incorporación de elementos vinculados al comportamiento social de determinadas especies del mundo animal y la hibridización con otras metaheurísticas.

- Aplicación de diferentes metaheurísticas para resolver el Problema de ruteo de vehículos
El problema de ruteo de vehículos (Vehicle Routing Problem o VRP), es un problema de optimización combinatoria de gran importancia en diferentes entornos logísticos. "El problema de distribuir productos desde ciertos depósitos a sus usuarios finales juega un papel central en la gestión de algunos sistemas logísticos, y su adecuada planificación puede significar considerables ahorros. [Toth & Vigo 2001].

El VRP tiene por objetivo encontrar las rutas que recorran cada uno de los vehículos (ubicados en un depósito) de manera que se satisfagan los requerimientos de los clientes, las restricciones operativas y se minimice el costo total de transporte. Debido a la dificultad de este problema (NP-hard) y a sus múltiples aplicaciones industriales, ha sido ampliamente estudiado tanto de manera práctica como teórica [Christofides et al. 1979].

En la historia reciente del VRP ha habido una evolución constante en la calidad de las metodologías resolutivas utilizadas en este problema, pertenecientes tanto al campo de investigación exacto como al heurístico. De todas formas, dada la dificultad del problema, ningún método exacto conocido es capaz de encontrar el óptimo para instancias que contengan más de 50 clientes [Golden et al. 1998]. Se puede encontrar una recopilación de técnicas exactas de solución existentes para los problemas de ruteo de vehículos [Laporte 1992]. No obstante, los de gran dimensión resultan imposibles de solucionar en tiempo polinomial, por lo que el VRP se denomina NP-hard [Machado et al. 2000] y [Olivera 2004], donde no es posible alcanzar una solución óptima y dependiendo de las características especiales de clientes, locaciones y producto/servicio, requiere la elaboración de una metodología de solución específica con la cual sea factible aproximarse lo mejor posible al óptimo. Debido a estas razones y a la relevancia práctica de VRP se han propuesto varias soluciones a este problema haciendo uso de heurísticas y metaheurísticas como por ejemplo, Tabu Search [Cordeau 1997], Simulated Annealing [Osman 1993], Ant Colony [Bell & McMullen 2004], Algoritmos Evolutivos [Bäker & Ayechev 2003], [Xu et al. 2005], entre otras.

En esta línea se pretende profundizar en el estudio de distintas metaheurísticas e hibridización de ellas para resolver este problema.

3. RESULTADOS OBTENIDOS/ESPERADOS

A continuación se mencionan los resultados esperados del proyecto:

- Estudio y desarrollo de métodos avanzados para el manejo de restricciones
- Investigación en tendencias actuales respecto a la eficiencia de las distintas metaheurísticas en la exploración del espacio de búsqueda.
- Estudio y desarrollo de métodos híbridos que mejoren el comportamiento de los métodos aplicados de forma individual.
- Aplicación de los algoritmos propuestos a problemas de optimización combinatoria, y en particular a VRP.
- Estudio comparativo en profundidad de los algoritmos propuestos contra técnicas tradicionales sobre el problema seleccionado.

- Análisis de los algoritmos propuestos con el objetivo de estudiar formalmente las complejidades computacionales involucradas en cada uno de ellos.

4. FORMACION DE RECURSOS HUMANOS

Un integrante de este proyecto de investigación está desarrollando su Tesis de Doctorado en temáticas afines.

Dos integrantes han comenzado su Maestría orientando sus cursos y trabajos a esta línea de investigación.

Se cuenta con dos becarios de investigación de posgrado y un becario de investigación de grado.

5. BIBLIOGRAFIA

[Bäker & Ayechev 2003] Bäker B. M. and Ayechev M. A: A genetic algorithm for the vehicle routing problem, *Computers & Operations Research*, pages 787-800, 2003.

[Bell & McMullen 2004] Bell J. and McMullen P.: Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem, *Advanced Engineering Informatics*, pages 41-48, 2004.

[Christofides et al. 1979] Christofides N., Mingozzi A., and Toth P.: *Combinatorial Optimization*, chapter The Vehicle Routing Problem, pages 315-338, John Wiley & Sons, 1979.

[Coello Coello 2002] Coello Coello C.: Theoretical and numerical constraint-handling techniques used with evolutionary algorithms: a survey of the state of the art, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 191, No. 11-12, pages 1245-128, 2002

[Cordeau 1997] Cordeau J-F, Gendreau M. and Laporte G: A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems. *Networks*, 30(2):105-119, 1997.

[Dhar & Ranganathan 1990] Dhar, V., and Ranganathan, N. Integer Programming versus Expert Systems: An Experimental Comparison. *Communications of the ACM* 33: 323-336, 1990.

[Glover et al. 2003] Glover F., Kochenberger G.H. (editors): *Handbook of Metaheuristics*, Kluwer Academic Publishers, 2003.

[Golden 1998] Golden B.L., Wasil E.A., Kelly J.P., and Chao I-M: *Fleet Management and Logistics*, chapter The Impact of Metaheuristics on Solving the Vehicle Routing Problem: algorithms, problem sets, and computational results, pages 33-56. Kluwer Academic Publishers, Boston, 1998.

[Hammilton 1964] Hammilton W. D.: The genetical evolution of social behaviour. *Journal of Theoretical Biology*, 7, pages 1-52, 1964.

[Hart 2005]. Hart W., Krasnogor N., and Smith J.: *Recent Advances in Memetic Algorithms*. Springer, 2005.

[Koziel & Michalewicz 1999]. Koziel, S. and Michalewicz, Z.: Evolutionary algorithms, homomorphous mapping, and constrained parameter optimization. *Evolutionary Computation*, 7(1): 19-44, 1999.

[Laporte 1992] Laporte, G.: The vehicle routing problem: an overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59, pages 345-358, 1992.

[Machado et al. 2000] Machado, P., Tavares, J., Pereira, F. and Costa, E.: *Vehicle Routing Problem: Doing it the Evolutionary Way*, 2000.

[Mezura-Montes 2009] Mezura-Montes. E. (Ed): *Constraint-Handling in Evolutionary Optimization*. Springer, 2009.

[Michalewicz 1997] Michalewicz Z.: *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolutions Programs*; Springer-Verlag, third, revised edition, 1997.

[Michalewicz & Schoenauer 1996] Michalewicz, Z and Schoenauer, M.: Evolutionary algorithms for constrained parameter optimization problems. *Evolutionary Computation*, 4(1): 1-32, 1996.

[Olivera 2004] Olivera, A.: *Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos*. Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería. Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, 2004.

[Osman 1993] Osman I. H.: *Metastrategy Simulated Annealing and Tabu Search Algorithms for the vehicle routing problem*. *Ann. Operations Research* 40(1), pages 421-451, 1993.

[Toth & Vigo 2001] Toth, P. and Vigo, D.: *An Overview of Vehicle Routing Problems*, *Monographs on Discrete Mathematics and Applications*. In: *The Vehicle Routing Problem*. SIAM, 2001.

[Wilson 1975] Wilson E. O.: *Sociobiology: a new synthesis*; Harvard University Press, 1975.

[Wynne-Edwards 1962] Wynne-Edwards, V. C.; *Animal dispersion in relation to social behavior*; Oliver y Boyd, Edimburgo, UK, 1962.

[Xu et al. 2005] Xu Y L, Lim M. H. and Er M. J. : *Investigation on Genetic Representations for Vehicle Routing Problem*, *IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics*, pages 3083- 3088, 2005.